

## ⑫ 公開特許公報(A)

平2-191526

⑤Int. Cl.<sup>5</sup>

B 01 D 53/34

識別記号

1 3 6 A

庁内整理番号

6816-4D

⑬公開 平成2年(1990)7月27日

審査請求 未請求 請求項の数 2 (全7頁)

⑭発明の名称 排ガス中の水銀濃度制御方法

⑰特 願 昭63-282597

⑱出 願 昭63(1988)11月10日

優先権主張 ⑳昭63(1988)10月11日㉑日本(JP)㉒特願 昭63-253909

⑳発明者 川 上 雅 章 東京都千代田区丸の内1丁目1番2号 日本鋼管株式会社内

㉑発明者 藤 井 聡 東京都千代田区丸の内1丁目1番2号 日本鋼管株式会社内

㉒発明者 阿 瀬 始 東京都千代田区丸の内1丁目1番2号 日本鋼管株式会社内

㉓発明者 小 峯 勇 東京都千代田区丸の内1丁目1番2号 日本鋼管株式会社内

㉔出 願 人 日本鋼管株式会社 東京都千代田区丸の内1丁目1番2号

㉕代 理 人 弁理士 佐々木 宗治 外1名

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

排ガス中の水銀濃度制御方法

## 2. 特許請求の範囲

(1) 水銀含有排ガス中の水銀を次亜塩素酸塩を添加した洗浄液と接触させて除去し、排出される排ガス中の水銀濃度を制御する方法において、

排出され排ガス中の水銀濃度と添加する次亜塩素酸塩の流量を測定して洗浄液中の酸化剤濃度を測定又は推定し、添加する次亜塩素酸塩の流量の変動が排出される排ガス中の水銀濃度変動に影響するまでの無駄時間をLとするとき、前記測定又は推定量、排ガス中の水銀濃度、次亜塩素酸塩流量及び排出される排ガス中の水銀濃度の目標値を入力として、前記Lだけ後に排出される排ガス中の水銀濃度とその目標値との偏差を数式モデルにより推定し、前記推定されたLだけ後に排出された排ガス中の水銀濃度と目標値との偏差をゼロに制御するように次亜塩素酸塩の流量を操作することを特徴とする排ガス中の水銀濃度制御方法。

(2) 数式モデルが線形モデルより構成され、該線形モデルのパラメータが排出される排ガス中の水銀濃度によって変化するように構成された請求項1記載の排ガス中の水銀濃度制御方法。

## 3. 発明の詳細な説明

[産業上の利用分野]

本発明は、ごみ焼却炉等から排出される排ガス中の水銀濃度を制御する方法に関するものである。

[従来の技術]

次亜塩素酸塩を添加した洗浄液と排ガスを接触させて、排ガス中から水銀を除去する装置は以前から考えられており、水銀除去方法に関する発明として、洗浄液pHを所定の範囲に制御するもの、次亜塩素酸塩が水銀と最もよく反応すべく、予冷塔において排ガス温度を下げたのち、洗浄液と接触させるものなどが提案されているが、いずれも、原ガス水銀濃度や原ガス還元成分濃度の変動に対して、処理ガス水銀濃度を制御するものではない。したがって、処理ガス水銀濃度が作業環境基準値(0.05mg/Nm<sup>3</sup>)を下廻る保証はなく、また、原

ガス水銀濃度が低い場合は、過剰な次亜塩素酸塩を消費する可能性もある。

このようなプロセスに対して、最も一般的な制御方法としては、処理ガス水銀濃度を計測し、この値と目標値との偏差に応じて、操作量である次亜塩素酸塩の流量を計算するPID制御方法が考えられる。

〔発明が解決しようとする課題〕

しかしながら、このPID制御においては、次のような問題がある。

(1) 先ず、第1にはプロセスが有するむだ時間に関するものである。第4図は次亜塩素酸塩の流量に対する処理ガス水銀濃度のステップ応答の一例を示す線図である。第4図によれば、水銀除去プロセスの動特性は、「むだ時間+一次遅れ」系で近似できることがわかる。第4図より、むだ時間(L)≒3.5分、時定数(T)≒6.5分が求められる。

このように、動特性が $L/T < 1$ でない性質をもつような制御対象を、汎用のPID制御で制御

することは困難で、PID制御で安定に運転するためには制御系のゲインを下げざるを得ず、そのため偏差の解消に時間がかかる。

(2) 第2にプロセスの非線形性の問題がある。第5図は洗浄液中の酸化剤濃度に対する水銀除去特性を示したもので、洗浄液中の酸化剤濃度が高いほど水銀除去の割合が低下する非線形性があることがわかる。そのため、制御系が不安定にならないように、制御対象である水銀除去プロセスのゲインが高いところで制御装置のゲインを調整しなければならない。この結果、処理ガスの水銀濃度が低い領域では制御対象のゲインが低くなり、閉ループ系の一巡伝達関数のゲインが低下し、偏差の解消に時間がかかる。

本発明は、上記の課題を解決すべくなされたもので、閉ループからのむだ時間が除外され、非線形の問題も解消できる排ガス中の水銀濃度制御方法をうることを目的としたものである。

〔課題を解決するための手段〕

先ず、制御対象である洗浄装置の動的モデルを

$y(t)$  : 観測量

$L$  : むだ時間 [min]

$A, b, c$  : パラメータ

ここで、処理ガス水銀濃度目標値に、実際値が追従するように制御装置内に目標値と実際値の偏差の積分項を導入する。

$$\frac{d}{dt} x_3(t) = r(t) - x_1(t) \quad \dots [2]$$

$x_3(t)$  : 偏差積分値 [ $\text{mg}/\text{Nm}^3 \cdot \text{min}$ ]

$r(t)$  : 処理ガス水銀濃度目標値 [ $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ]

したがって、[1],[2]式を合わせた拡大系は、次のように表現される。

構成する。洗浄塔を循環している洗浄液ラインの途中から添加される次亜塩素酸塩は、排ガス中の水銀を除去する酸化剤となる。したがって、次亜塩素酸塩の流量が洗浄液中の酸化剤の濃度に関与し、酸化剤が排ガス中の水銀と反応し、洗浄液中に溶解して除去される。処理ガス中の水銀濃度は、次亜塩素酸塩の流量、洗浄液中の酸化剤の濃度と密接な関係があるので、この3つを変数としてモデル化すると、一般には非線形系であるため、ある定常点回りで線形化して次のように定式化する。

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} &= \\ A \cdot \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} + b \cdot u(t-L) & \\ y(t) = C \cdot \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} & \end{aligned} \right\} \dots [1]$$

$x_1(t)$  : 処理ガス水銀濃度 [ $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ]

$x_2(t)$  : 洗浄液中の酸化剤濃度 [ppm]

$u(t-L)$  : 次亜塩素酸塩流量 [ $\text{cc}/\text{min}$ ]

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} A & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u(t-L) + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} r(t) \\ &= \bar{A} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix} + \bar{B} u(t-L) + \bar{C} r(t) \\ y(t) &= [c \ 0] \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix} = c x_1(t) \end{aligned} \quad \dots [3]$$

+Lの予測値が計算できる。そこで操作量  $u(t)$  をこの時刻  $t+L$  の状態量の状態フィードバックで定式化する。フィードバックゲイン  $F$  は、 $x_1(t)$  が  $r(t)$  にあらかじめ定めた応答速度で追従するように、定めた閉ループ系の極と既知パラメータ  $\bar{A}$ ,  $\bar{B}$  から算出する。

$$u(t) = F \cdot \begin{bmatrix} x_1(t+L) \\ x_2(t+L) \\ x_3(t+L) \end{bmatrix} \quad \dots [5]$$

この[5]式を[3]式に代入することにより、次式を得る。

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix} &= (\bar{A} + \bar{B} \cdot F) \cdot \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix} + \bar{B} \cdot u(t-L) + \bar{C} \cdot r(t) \end{aligned} \quad \dots [6]$$

この制御系では、制御対象である洗浄装置の動的モデルに、偏差の補償用に積分項を導入している。[3]式を制御対象として安定化すれば、

$$\frac{d}{dt} [x_1(t), x_2(t), x_3(t)]^T = 0$$

となり、 $x_1(t), x_2(t)$  がある定常点で落ちつき、しかも[2]式から  $x_1(t)$  は  $r(t)$  に追従する。

安定化のためには、外部信号  $r(t)$  : 目標値は関与しないから、 $r(t) = 0$  とおける。これをもとに、[3]式を解くと

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} x_1(t+L) \\ x_2(t+L) \\ x_3(t+L) \end{bmatrix} &= e^{\bar{A} \cdot L} \cdot \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix} + \int_{t-L}^t e^{\bar{A} \cdot (t-\tau)} \cdot \bar{B} \cdot u(\tau) d\tau \end{aligned} \quad \dots [4]$$

したがって、時刻  $t$  では[4]式を用いて時刻  $t$

ここで、本プロセスでは、

$$\text{rank} \begin{bmatrix} A & b \\ -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} = 3 \quad \text{であるので、}$$

$(\bar{A}, \bar{B})$  は可制御であり、[6]式の極を任意の点に設定できる。したがって、 $t \rightarrow \infty$  で  $x_3(t) \rightarrow 0$ 、ゆえに、[2]式より閉ループ系は漸近安定となる。

以上の説明では、すべての状態が観測できると考えて状態フィードバックを構成したが、必ずしもすべての状態が観測できるとは限らない。その場合には、[1]式より、次式のようにオブザーバを構成して状態量を推定すればよい。

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \omega_1(t) \\ \omega_2(t) \end{bmatrix} &= A \cdot \begin{bmatrix} \omega_1(t) \\ \omega_2(t) \end{bmatrix} + b \cdot u(t-L) + K \cdot (y(t) - C \cdot \begin{bmatrix} \omega_1(t) \\ \omega_2(t) \end{bmatrix}) \end{aligned} \quad \dots [7]$$

$\omega_1(t)$  : 処理ガス水銀濃度推定値  
[mg / Nm<sup>3</sup>]

$\omega_2(t)$  : 洗浄液中酸化剤濃度推定値 [ppm]

K : パラメータ

次に系の非線形性に起因するモデルパラメータの変動に対しては、処理ガス水銀濃度を引数として、洗浄液中の酸化剤濃度と処理ガス水銀濃度の関係から決まる水銀除去特性のパラメータ  $\bar{A}$ ,  $\bar{b}$  を数ケース持つ。そして、処理ガス水銀濃度に応じて、パラメータ  $\bar{A}$ ,  $\bar{b}$  を変更し、同時にフィードバックゲイン F も、予め定めた閉ループ系の極と一致するように変更されたパラメータを使って計算し直す構成とする。

以上の説明から明らかなように、本発明は次のような特長を有する。

#### (1) むだ時間について

操作量  $u(t)$  を時刻  $t+L$  の状態量を使用してフィードバックすることにより、目標値  $r(s)$  から観測量  $y(s)$  までの伝達関数は、

$$[F = (F_1, F_2)]$$

$$y(s) = \frac{F_1 C_{adj} (S I - A) b e^{-SL}}{|S I - \bar{A} - \bar{b} F|} r(s)$$

と表わされるので、閉ループ系からむだ時間が除外され、フィードバックゲイン F をむだ時間がないものと決定できる。

#### (2) プロセス非線形について

水銀除去特性を表わすパラメータ  $\bar{A}$ ,  $\bar{b}$  を、処理ガス水銀濃度によって現在のプロセスの特性に切り換え、同時にフィードバックゲイン F も閉ループ系の極が変化しないように計算し直すために、処理ガス水銀濃度が目標値に追従する速度は常に一定となる。

#### [発明の実施例]

第1図は本発明を実施するための制御装置の実施例を示すもので、本装置は、むだ時間除去機構(1)、パラメータ切換え機構(2)及びフィードバックゲイン(3)とから構成されている。

第2図は水銀除去洗浄装置の一例を示す模式図である。焼却炉を出た排ガス(5)は洗浄塔(6)に導入され、こゝで循環する洗浄液(7)と接触する。この洗浄液ラインの途中から酸化剤の次亜塩素酸塩(8)が添加され、液中の酸化剤は排ガス(5)中の水銀を妨害する還元性物質及び金属水銀を酸化し、洗浄液中へ溶解させ、除去する。次亜塩素酸塩(8)の供給量は、水銀濃度計(9)により処理ガス中の水銀濃度を計測して水銀除去制御装置(10)内に取込み、前述の本発明に係る制御方法によって決定される。そして、次亜塩素酸塩の供給ポンプ(11)に流量信号が送られる。

第3図は本発明の制御方法による水銀除去プロセスの運転結果を示す線図である。これらの図から明らかなように、本発明の制御方法によれば、処理ガス中の水銀濃度は設定値近辺で絶えず変動し追従しており、従来の制御方法にみられるような設定値以下の状態が長く継続し、過剰な次亜塩素酸塩を消費する問題も解消されたことがわかる。  
[発明の効果]

以上の説明から明らかなように、本発明によれば、閉ループ系からむだ時間が除外され、フィードバックゲインをむだ時間のないものとして決定でき、またプロセス非線形の問題も解消できるので、必要量以上の次亜塩素酸塩の供給が防止され、運転コストの低減、装置の腐食防止がはかれる等、実施による効果顕著である。

#### 4. 図面の簡単な説明

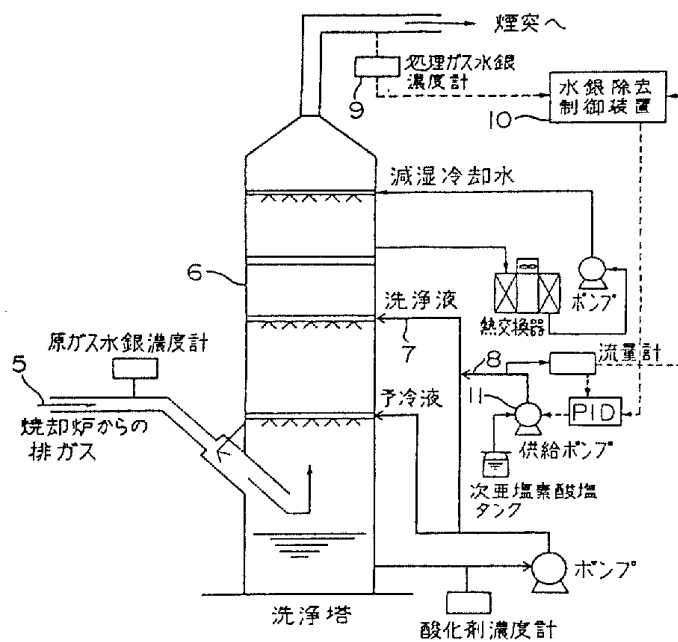
第1図は本発明を実施するための制御装置の実施例を示すブロック図、第2図は水銀除去装置の一例を示す模式図、第3図は本発明による水銀除去プロセスの運転結果を示す線図、第4図は次亜塩素酸塩の流量に対する処理ガス水銀濃度のステップ応答を示す線図、第5図は洗浄液中の酸化剤濃度に対する水銀除去特性を示す線図である。

(1) : むだ時間除去機構、(2) : パラメータ切換え機構、(3) : フィードバックゲイン、(4) : 水銀除去プロセス、(5) : 排ガス、(6) : 洗浄塔、(7) : 洗浄液、(8) : 次亜塩素酸塩、(9) : 水銀濃度計、(10) : 水銀除去制御装置、(11) : 供給ボ

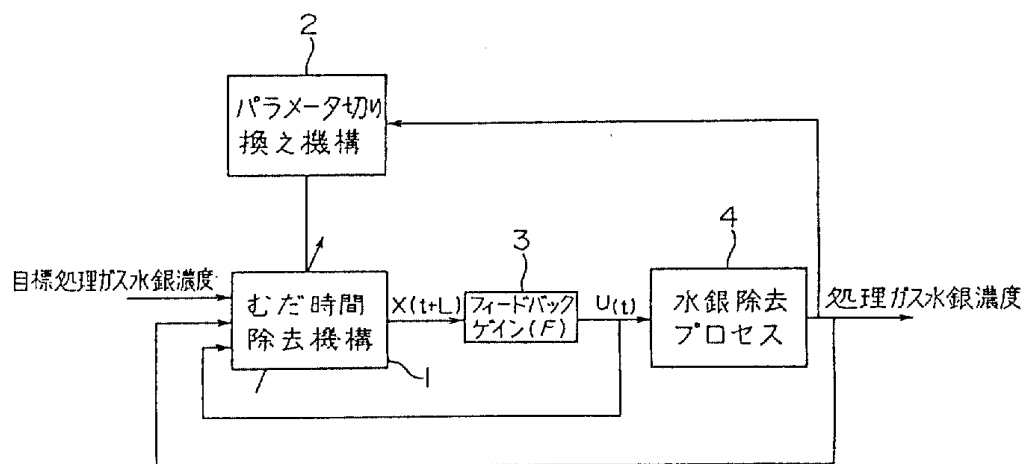
ンプ。

第 2 図

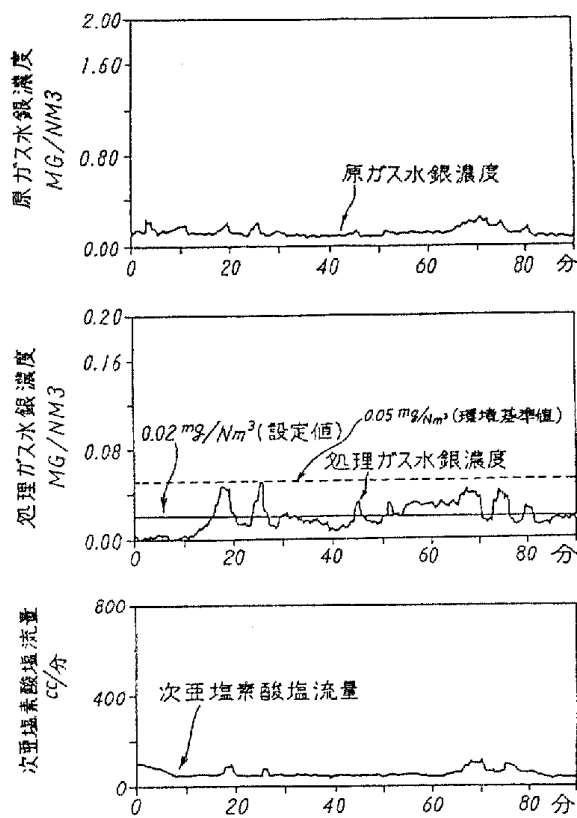
代理人 弁理士 佐々木 宗 治



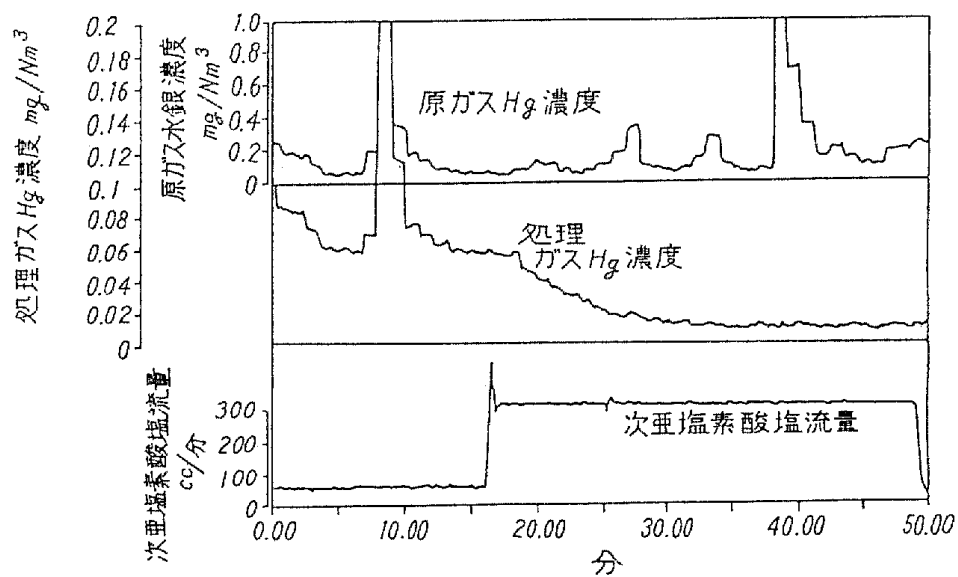
第 1 図



第 3 図



第 4 図



第 5 図

